

ACADÉMIE NATIONALE DE MÉDECINE 16, RUE BONAPARTE - 75272
PARIS CEDEX 06 TÉL : 01 42 34 57 70 - FAX : 01 40 46 87 55
www.academie-medecine.fr

Un rapport exprime une prise de position officielle de l'Académie. L'Académie saisie dans sa séance du mardi 9 mai 2017, a adopté le texte de ce rapport avec 92 voix pour, 1 voix contre et 4 abstentions.

NUISANCES SANITAIRES DES EOLIENNES TERRESTRES

Patrice TRAN-BA-HUY * (Rapporteur) au nom d'un groupe de travail ** rattaché à la Commission XIV (Déterminants de santé – Prévention - Environnement)

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt en rapport avec le contenu de ce rapport.

RESUMÉ

L'extension programmée de la filière éolienne terrestre soulève un nombre croissant de plaintes de la part d'associations de riverains faisant état de troubles fonctionnels réalisant ce qu'il est convenu d'appeler le «syndrome de l'éolienne ». Le but de ce rapport était d'en analyser l'impact sanitaire réel et de proposer des recommandations susceptibles d'en diminuer la portée éventuelle.

Si l'éolien terrestre ne semble pas induire directement des pathologies organiques,il affecte au travers de ses nuisances sonores et surtout visuelles la qualité de vie d'une partie des riverains et donc leur « état de complet bien-être physique, mental et social » lequel définit aujourd'hui le concept de santé.

____

***** Membre de l'Académie nationale de médecine

****** Membres du groupe de travail : CH. Chouard, E. Cabanis, A. Chays, MT. Hermange, Y. Touitou et présidé par P.Tran Ba Huy.

Dans le double souci d'améliorer l'acceptation du fait éolien et d'atténuer son retentissement sanitaire, direct ou indirect, le groupe de travail recommande :

- de s'assurer que lors de la procédure d'autorisation l'enquête publique soit conduite avec le souci d'informer pleinement les populations riveraines, de faciliter la concertation entre elles et les exploitants, et de faciliter la saisine du préfet par les plaignants,

- de n'autoriser l'implantation de nouvelles éoliennes que dans des zones ayant fait l'objet d'un consensus de la population concernée quant à leur impact visuel, sachant que l'augmentation de leur taille et leur extension programmée risquent d'altérer durablement le paysage du pays et de susciter de la part de la population riveraine – et générale - opposition et ressentiment avec leurs conséquences psychiques et somatiques.

- de systématiser les contrôles de conformité acoustique dont la périodicité doit être précisée dans tous les arrêtés d'autorisation et non au cas par cas,

- d'encourager les innovations technologiques susceptibles de restreindre et de « brider » en temps réel le bruit émis par les éoliennes et d'en équiper les éoliennes les plus anciennes,

- de ramenerle seuil de déclenchement des mesures d'émergence à 30 dB A à l'extérieur des habitations et à 25 à l'intérieur, (tout en laissant les éoliennes sous le régime des Installations Classées pour le Protection de l'Environnement),

- d'entreprendre, comme recommandé dans le précédent rapport, une étude épidémiologique prospective sur les nuisances sanitaires.

Contenu

INTRODUCTION

La filière éolienne terrestre constitue une alternative écologique aux besoins énergétiques croissants de nos sociétés industrielles. En termes de capacité de production, elle occupe aujourd'hui la deuxième place des énergies renouvelables (EnR), derrière la filière hydraulique mais devant les filières solaire et bioénergétique (Annexe I). Toutefois le développement de cette source d'EnR soulève un nombre croissant de plaintes de la part d'associations de riverains faisant état de troubles fonctionnels réalisant ce qu'il est désormais convenu d'appeler le « syndrome de l'éolienne ».

C'est pour répondre à ces plaintes que le Secrétaire Perpétuel de notre institution a confié à un groupe de travail l'actualisation du rapport sur « Le retentissement du fonctionnement des éoliennes sur la santé de l'homme » rédigé en 2006 sous l'autorité du Professeur Claude-Henri Chouard [1]. Sans ignorer ni minimiser le moins du monde les importantes implications socio-économiques, politiques, écologiques ou énergétiques du problème, il est posé ici en préambule que seuls ont été abordés et discutés les aspects sanitaires des éventuelles nuisances.

I. LE RAPPORT DE 2006, LEGISLATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES

Dans ses conclusions, ce rapport recommandait : i) la réalisation d'une enquête épidémiologique approfondie sur les dommages sanitaires, notamment auditifs, causés par les éoliennes ; ii) de suspendre à titre conservatoire la construction d'éoliennes d'une puissance supérieure à 2,5 MW à moins de 1500 mètres des habitations ; iii) de considérer les éoliennes comme des installations industrielles et qu'à ce titre elles soient soumises aux mêmes contraintes et règlementations, notamment en matière de nuisances sonores.

A la suite de diverses enquêtes et rapports, la loi du 12 juillet 2010 dite Grenelle 2 complétée par le décret du 23 août 2011 et l'arrêté du 26 août 2011 ne prenait en compte que la dernière recommandation puisqu'elle fixait à 500 mètres la distance minimale entre éoliennes et habitations, ne diligentait aucune enquête épidémiologique, privant les présents rapporteurs de données sanitaires solides, mais plaçait toutefois les éoliennes sous le régime des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)*

* Ce régime permet d'encadrer les ouvrages et installations susceptibles de générer des impacts significatifs sur le voisinage, la santé, la protection de la nature, etc. ainsi que des risques vis-à-vis de la sécurité des personnes.

Mais c'est la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (n°2015-992 du 17 août 2015) qui fixe désormais le cadre de la politique éolienne. Les principales dispositions pour notre propos en sont :

-la part des EnR dans le mix énergétique de la France est fixée à 32% à l'horizon 2030,

-la part de l'éolienne terrestre est définie par La Programmation Pluriannuelle des Energies (PPE) qui prévoit pour la filière éolienne un développement annuel visant à atteindre 15 000.

MW en 2018 et entre 21 800 et 26 000 MW en 2023 (au 30 juin 2016, environ 4 000 éoliennes regroupées au sein de 1 400 fermes produisaient une puissance de 10 850 MW). Elle devrait ainsi couvrir environ 10% de l'électricité consommée en France métropolitaine (contre 5% aujourd'hui),

-la distance entre habitations et éoliennes est maintenue à 500 mètres,

-une simplification administrative est assurée par la généralisation d'une procédure d'autorisation unique regroupant l'ensemble des autorisations nécessaires à la construction et à l'exploitation d'un parc éolien. Cette procédure unique est pérennisée dès le premier mars 2017 à travers une « autorisation environnementale » dispensant du permis de construire pour l'éolien terrestre.

II. LE SYNDROME DES EOLIENNES

Est regroupé sous ce vocable un ensemble de symptômes très divers [1,2,3,4] rapportés à la nuisance des éoliennes. On peut schématiquement les distinguer en : généraux : troubles du sommeil, fatigue, nausées, etc. ; neurologiques : céphalées, acouphènes, troubles de l'équilibre, vertiges, etc. ; psychologiques (stress, dépression, irritabilité, anxiété, difficultés de concentration, troubles de la mémoire, etc.) ; endocriniens (perturbation de la sécrétion d'hormones stéroïdes, etc.) ; cardio-vasculaires (hypertension artérielle, maladies cardiaques ischémiques, tachycardie, etc.) ; socio-comportementaux (perte d'intérêt pour autrui, agressivité, baisse des performances professionnelles, accidents et arrêts de travail, déménagement, dépréciation immobilière, etc.).

L'analyse de ces symptômes appelle les commentaires suivants : i) ils ne semblent guère spécifiques et peuvent s'inscrire dans ce qu'il est convenu d'appeler les Intolérances Environnementales Idiopathiques ; ii) certains symptômes, rares, peuvent avoir une base

organique comme les troubles du sommeil ou les équivalents du mal des transports ; iii) la très grande majorité d'entre eux est plutôt de type subjectif, fonctionnel, ayant pour point commun les notions de stress, de gêne, de contrariété, de fatigue... ; iv) ils ne concernent qu'une partie des riverains, ce qui soulève le problème des susceptibilités individuelles, quelle qu'en soit l'origine (cf. infra).

III. LES NUISANCES SANITAIRES

Si l'on excepte les risques traumatiques liés aux bris de pales, projections de blocs de glace l'hiver dont l'occurrence reste exceptionnelle, trois facteurs concourent aux doléances exprimées :

1. Les nuisances visuelles

La stimulation lumineuse stroboscopique liée à la rotation des pales lorsqu'elles sont observées sous un certain éclairage a été dénoncée comme étant susceptible de provoquer des crises d'épilepsie.

Le clignotement des feux de signalisation, par son caractère répétitif et obsédant la nuit, est également dénoncé par des associations de plaignants.

La défiguration du paysage constitue, par son retentissement psychologique et la dévalorisation immobilière qu'elle entraîne, une nuisance réelle sur laquelle nous reviendrons.

2. Les nuisances sonores

Le bruit est de loin le grief le plus souvent allégué par les plaignants.

i) Caractéristiques des fréquences éoliennes

Hormis dysfonctionnement mécanique ou accident imprévu, le bruit généré par le rotor de l'éolienne et par la rotation de ses pales, notamment lorsque celles-ci passent devant le mât, est essentiellement composé *de basses fréquences et d'infrasons* (Annexe II). La gamme des fréquences perçues par l'oreille humaine s'étendant de 20 à 20 000 Hz, *les basses fréquences* sont - arbitrairement - comprises entre 100 et 20 Hz et *les infrasons* au-dessous.

C'est donc dans ce spectre fréquentiel qu'il faut rechercher les causes possibles des troubles.

Les infrasons ont longtemps été considérés comme le facteur essentiel de nuisance [5] et une littérature considérable leur a été consacrée.

Etant situés au-dessous des 20 Hz, ils sont donc théoriquement inaudibles par l'oreille humaine, sauf s'ils sont présentés à une intensité suffisamment forte.

Leurs seuils d'audibilité en dB A (voir annexe III) ont fait l'objet de nombreux travaux [6,7,8]. A titre d'exemple, la figure et le tableau ci-dessous en donnent les valeurs.

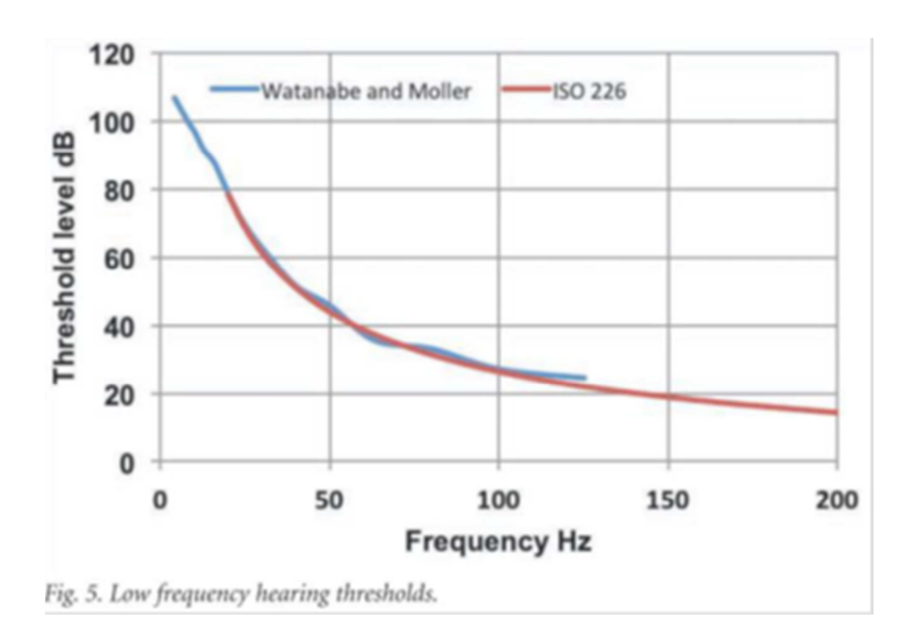


Fig. 5. Low frequency hearing thresholds.

Fréquences en Hz	1	2	4	8	12	16	20
Seuils d'audibilité en dB A	120	115	107	98	90	82	75

Tableau 1. Seuils d'audibilité d'après Watanabe et Möller [6]

Ces valeurs élevées sont confirmées par une étude utilisant l'IRMf [9] montrant qu'à la fréquence 12 Hz le seuil de réponse du cortex auditif (et uniquement lui) est de 110 dB SPL (et non dB A) (pour les problèmes techniques inhérents à la technique d'IRMf voir [10]).

Ces seuils d'audibilité très élevés sont à comparer aux mesures effectuées aux distances réglementaires minimales d'éloignement (500 mètres) qui montrent que l'intensité des infrasons et des basses fréquences émis par les éoliennes est faible, ne dépassant jamais 60 dB [11, 12,13](Tableau 2 et Annexe IV).

Fréquences en Hz	11-22	31	63	125
Intensités en dB A mesurées à 500 mètres	55	55	54	50
Intensités en dB A mesurées à 816 mètres	52	52	52	48

Tableau 2. Bruit généré par une ferme de 10 éoliennes. D'après Hayes McKenzie [12].

D'un point de vue clinique, les seuils au-delà desquels les infrasons seraient susceptibles d'occasionner une gêne sont mentionnés dans le tableau suivant.

Fréquences en Hz	6	12	16	20
Intensités en dB A	92	87	83	74

Tableau 3. Seuils de gêne occasionnée par les infrasons. D'après Moorhouse, Waddington et Adams [14].

Pour comparaison, les intensités émises par les nombreuses sources d'infrasons de notre environnement, naturelles (vagues océanes, chutes d'eau, tremblements de terre, etc.) ou artificielles (vibrations du trafic routier ou aériens, explosions, compresseurs industriels, etc.) [15,16] sont présentées dans le tableau suivant.

Rase campagne	40 dB A
Bruit d'un centre-ville	60 dB A
Ressac de la mer	70 dB A
Centrale électrique	80-120 dB A
Voyage en voiture vitres ouvertes	120 dB A
Tempête	135 dB A
Cabine d'hélicoptère	115-150 dB A

Tableau 4. Exemples d'intensités d'infrasons de sources naturelle ou artificielle. D'après Leventhall. [16].

Par comparaison également, signalons que les infrasons émis par notre propre corps (battements cardiaques ou respiration) et transmis à l'oreille interne au travers de l'aqueduc cochléaire sont plus intenses que ceux émis par les éoliennes [17].

Ces multiples données suggèrent qu'il est très improbable qu'aux intensités ainsi définies, les infrasons puissent être audibles par l'oreille humaine, ce qui ne signifie toutefois pas qu'ils ne puissent être ressentis (cf. infra).

Le bruit éolien « entendu » et « rajouté » au bruit résiduel (bruit de fond) est donc essentiellement composé de *basses fréquences* mais, comme souligné plus bas, leur intensité demeure très faible et c'est dans d'autres caractéristiques que réside sans doute une nuisance possible (cf.infra).

ii) Pathogénie

Par quel(s) mécanisme(s), le bruit ainsi défini peut-il expliquer les manifestations cliniques du syndrome éolien? Trois sont décrits dans la littérature.

- ***Une stimulation de l'oreille interne.***

. Une étude [18] conclut que : i) les infrasons provoquent une réponse des cellules ciliées externes de la cochlée alors qu'ils ne sont pas perçus par les cellules ciliées internes, seules cellules réellement sensorielles, et sont donc « inaudibles » ; ii) des impulsions de 0,3 Hz semblent induire un flux d'endolymphe vers le sac endolymphatique ; iii) les cellules ciliées vestibulaires, quoique codant les fréquences < à 30 Hz, ne répondent pas aux infrasons véhiculés par voie aérienne.

Cet article très fréquemment cité suggère que les infrasons peuvent affecter l'oreille. En réalité, son analyse appelle les remarques suivantes : i) il ne s'agit pas d'un travail clinique ni expérimental mais théorique, reposant sur l'analyse de modèles et de données électrophysiologiques, biomécaniques, et acoustiques ; ii) ses conclusions sont prudentes, les auteurs estimant qu'à l'état normal les infrasons, quoiqu' « inaudibles » par l'oreille humaine, pourraient certes influencer la physiologie de l'oreille interne – mais par forcément sa fonction, hormis pathologie préexistante (type maladie de Menière ou déhiscence canalaire).

Une deuxième étude [19] menée sur trois familles ayant « déménagé » pour cause de nuisances met en cause une stimulation des otolithes, structures calcaires surplombant l'épithélium sensoriel de l'utricule et du saccule, ce que confirme une autre étude expérimentale [20]. Les symptômes rapportés par certains membres de ces familles étaient similaires à ceux du mal des transports, lequel est provoqué par des très basses fréquences inférieures à 1 Hz. C'est à 0,8 Hz et surtout à 0,2 Hz que la réponse otolithique serait la plus intense. Ainsi, les infrasons produits par les éoliennes pourraient déclencher chez les riverains

prédisposés des symptômes identiques à ceux du mal des transports. On peut toutefois signaler que cette étude est en contradiction avec l'étude précédente qui suggère que les cellules ciliées vestibulaires sont très peu sensibles aux basses fréquences.

Une autre étude [11] incrimine également les pulsations pressionnelles infrasoniques qui pourraient stimuler le système vestibulaire. Il en résulterait des symptômes classiquement observés dans les pathologies vestibulaires.

- ***Une stimulation d'organes viscéraux***

La propagation aérienne des ondes acoustiques pressionnelles de basses et très basses fréquences et/ou leurs harmoniques provoquerait des phénomènes de résonance dans les cavités thoraciques et abdominales contenant de l'air, expliquant les sensations de vibration ou de pulsation ressenties [21] (cf. Annexe III). On ne peut nier également le rôle possible des propriocepteurs cutanés procurant une sensation vibro-tactile. Toutefois ces mécanismes extra-auditifs ne semblent survenir qu'aux fortes intensités.

- ***Une action directe du bruit sur le sommeil***

Toutes les données de la littérature concordent pour souligner l'effet très négatif du bruit sur le sommeil. De fait, les troubles du sommeil représentent sans doute la doléance la plus constante des riverains. Ils sont d'ailleurs objectivés par les enregistrements somnographiques effectués par des cliniques du sommeil. Ces études concluent qu'à l'intérieur d'un périmètre de 1,5 km le bruit émis par les éoliennes perturberait la qualité du sommeil [23-30].

Une autre étude [11] suggère que certaines basses fréquences (autour de 30 Hz) interfèreraient avec les ondes « Beta » cérébrales du sommeil qui sont associées avec les réactions d'alerte, de stress et d'anxiété. Cette interférence expliquerait les troubles du sommeil. Mais ce mécanisme est très controversé.

3. Les facteurs psychologiques

Qu'ils soient provoqués par ou associés aux nuisances visuelles et sonores, les facteurs psychologiques jouent un rôle probable dans leur ressenti [2,25,31,32]. Ces facteurs ont été souvent discutés dans la littérature et peuvent être regroupés en quatre rubriques.

- *L'incidence des nouvelles technologies*

Toute nouvelle technologie charrie son lot de peurs et de fantasmes et peut fournir une explication rationnelle à des troubles fonctionnels pré-existants. Une étude scandinave montre en effet qu'en l'absence de tout environnement nocif un nombre significatif d'individus se plaignent de symptômes divers (gastro-intestinaux, musculaires, névralgiques, etc.) [32,33].

- *L'effet « nocebo »*

Il s'agit de l'inverse de l'effet placebo, consistant en l'induction psychologique d'une douleur ou d'une doléance [34]. Cet effet semble bien pouvoir s'appliquer aux infrasons. Une récente étude néozélandaise conduite en double aveugle a comparé les effets d'une exposition de 10 minutes soit à une stimulation placebo (c'est-à-dire au silence), soit à des infrasons, sur des sujets recevant préalablement une information soulignant soit les méfaits, soit l'innocuité de ces derniers. Seuls les sujets ayant reçu les informations négatives rapportèrent des symptômes, qu'ils aient été ou non soumis à l'exposition aux infrasons !!! [34,36,37]. Cette expérience souligne le rôle éventuellement négatif de certains médias et autres réseaux sociaux.

En d'autres termes, la crainte de la nuisance sonore serait plus pathogène que la nuisance elle-même.

- *Les facteurs individuels*

Le fait que seule une partie de la population riveraine manifeste une gêne peut s'expliquer par les écarts inter-individuels de sensibilité auditive qui peuvent atteindre jusqu'à 15 dB [38] ainsi que par l'existence d'une pathologie auditive type hyperacousie ou presbyacousie à l'origine d'un recrutement (c'est-à-dire un pincement du champ de confort auditif).

Mais la personnalité des sujets joue également un rôle manifeste. Certains profils, émotifs, anxieux, fragiles, hypochondriaques voire « écologiquement engagés » prêteront une attention « négative » à toute perturbation de leur environnement. D'un point de vue médical, il ne peut être nié que ces facteurs soient responsables de symptômes psychosomatiques (insomnie, dépression, troubles de l'humeur, etc.), lesquels, fragilisant l'individu, peuvent à terme retentir sur sa santé.

De plus la sensation de violation de leur habitat, espace-refuge, par une intrusion sonore – ou plus encore - visuelle ne peut que majorer cette « attention négative ».

- *Les facteurs sociaux et financiers.*

Plusieurs facteurs contribuent fortement à susciter des sentiments de contrariété, d'insatisfaction voire de révolte [29,35,36,39,40] : i) sentiment d'être mis devant le fait accompli et d'être impuissant face aux pouvoirs publics qui apparaissent inaccessibles voire indifférents aux plaintes et réclamations déposées par les riverains ; ii) mécontentement des riverains dont le bien immobilier est dévalué par la présence d'engins inesthétiques polluant leur panorama quotidien ; iii) diffusion via notamment les médias, les réseaux sociaux voire certains lobbies d'informations non scientifiques accréditant des rumeurs pathogéniques non fondées ; iv) absence d'intéressement aux bénéfices financiers… Ce dernier point mérite attention. En effet, des études épidémiologiques ont clairement montré que l'intéressement des riverains aux retombées économiques diminuait significativement le nombre de plaintes [41]. Rappelons ici que les redevances versées par les exploitants ne profitent qu'aux propriétaires ou locataires, fermiers bien souvent, des terrains utilisés ou à la communauté des communes.

4. Synthèse des nuisances

Une analyse critique des nuisances énoncées ci-dessus conduit aux conclusions suivantes.

Le rôle négatif des **facteurs visuels** ne tient pas à une *stimulation stroboscopique*. Si celle-ci peut certes provoquer à certaines heures de la journée et dans certaines conditions une gêne assimilée par les plaignants à « une alternance d'éclairage et de pénombre » dans leurs lieux d'habitation, le risque d'épilepsie dite photosensible, lié aux « ombres mouvantes » (shadow flickers), ne peut être raisonnablement retenu car *l'effet stroboscopique* de la lumière « hâchée » par la rotation des pales nécessite des conditions météorologiques et horaires exceptionnellement réunies [42,43] et aucun cas d'épilepsie n'est avéré à ce jour. De même le *rythme de clignotement des feux de signalisation* est-il nettement situé au-dessous du seuil épileptogène.

En revanche ***la défiguration du paysage*** par des structures considérées comme inesthétiques voire franchement laides par les riverains plaignants doit être considéré comme relevant non d'un problème d'esthétique environnementale (le temps influera probablement sur nos critères de beauté architecturale) mais d'une réelle nuisance sanitaire. En effet, la « pollution visuelle» de l'environnement qu'occasionnent les fermes éoliennes avec pour corollaire la dépréciation immobilière des habitations proches génère des sentiments de contrariété, d'irritation, de

stress, de révolte avec toutes les conséquences psycho-somatiques qui en résultent [32]. Et les impressionnantes perspectives de développement de l'éolien terrestre (l'installation d'environ 500 nouvelles éoliennes dont la hauteur devrait atteindre 200 mètres ou plus est prévue pour les 5 ans à venir !) ne pourront qu'amplifier des sentiments en voie d'être partagés par une proportion croissante de la population française.

Curieusement, cette nuisance visuelle ne semble pas ou très peu être prise en considération par les décisionnaires politiques ou les promoteurs et industriels concernés (étant posé qu'aucun d'entre eux n'installerait ou n'acquerrait une propriété à proximité d'un parc éolien !).

Le rôle de l'intensité du bruit éolien dans les symptômes allégués est diversement apprécié dans la littérature. Majeur pour l'OMS, il est contesté par d'autres auteurs. Toutes les études montrent en effet que cette intensité est relativement faible, restant souvent très en-deçà de celles de la vie courante, lesquelles dans une étude scandinave menée dans une municipalité de banlieue varient de 45 à 72 dB A [44]. Par ailleurs, les plaintes ne semblent pas directement corrélées à cette intensité [45].

Le rôle des infrasons, souvent incriminé [5], peut être raisonnablement mis hors de cause à la lumière des données physiques, expérimentales, et physiologiques mentionnées plus haut [456,47,48] sauf peut-être dans la survenue de certaines manifestations vestibulaires, toutefois très mineures en fréquence par rapport aux autres symptômes.

En revanche***, le caractère intermittent, aléatoire, imprévisible, envahissant du bruit généré par la rotation des pales,*** survenant lorsque le vent se lève, variant avec son intensité, interdisant toute habituation, peut indubitablement perturber l'état psychologique de ceux qui y sont exposés. Ce sont notamment ***les modulations d'amplitudes*** causées par le passage des pales devant le mât qui sont dénoncées comme particulièrement dérangeantes [49].

En tout état de cause, ***les nuisances sonores semblent relativement modérées aux distances « règlementaires », et concerner surtout les éoliennes d'anciennes générations.***

Il convient par ailleurs de souligner que ces nuisances ***n'affectent qu'une partie des riverains*** variant selon diverses enquêtes de 4 à 20 % d'entre eux [25,43], valeurs à rapprocher de celles établies par des études canadiennes et britanniques estimant que près de 10% de la population générale est gêné par les sources habituelles de nuisances sonores (trafic routier, aérien, ferroviaire, etc.) [45,50].

En résumé, les nuisances sanitaires semblent avant tout d'ordre visuel (défiguration du paysage et ses conséquences psycho-somatiques) et à un moindre degré sonore (caractère intermittent et aléatoire du bruit généré par les éoliennes d'anciennes générations). Au plan médical, le syndrome des éoliennes réalise une entité complexe et subjective dans l'expression clinique de laquelle interviennent plusieurs facteurs. Certains relèvent de l'éolienne, d'autres des plaignants, d'autres encore du contexte social, financier, politique, communicationnel.

IV. DISCUSSION ET ACTIONS POSSIBLES

Ces facteurs de nuisances étant identifiés, l'analyse de la littérature médicale et scientifique (plus d'une soixantaine d'articles ont été publiés à ce jour sur les effets sanitaires des éoliennes) ne permet pas de démontrer que celles-ci - lorsqu'elles sont correctement situées – retentissent significativement sur la santé. En d'autres termes, aucune maladie ni infirmité ne semble pouvoir être imputée à leur fonctionnement [51, 52,53].

Le problème toutefois est que la définition de la santé a évolué et que, d'après l'OMS, elle représente aujourd'hui *un état de complet bien-être physique, mental et social*, ne consistant pas seulement en l'absence de maladie ou d'infirmité.

Dans cette acception, force est d'admettre que le syndrome des éoliennes, quelque subjectifs qu'en soient les symptômes, traduit une souffrance existentielle, voire une détresse psychologique, bref une atteinte de la **qualité de vie qui, toutefois, ne concerne qu'une partie des riverains** [54].

Une action mérite donc d'être engagée pour obtenir une meilleure acceptation du fait éolien imposé par les autorités publiques et limiter la dégradation de la qualité de vie ressentie par les plaignants.

1. Lutte contre le bruit

Pour autant que les nuisances sonores soient avérée, cette lutte pourrait reposer sur un certain nombre de mesures.

i) Protection sonore

Pour des raisons physiques bien établies (voir Annexe III), des mesures de protection contre les basses fréquences et les infrasons sont aujourd’hui *peu efficaces* : i) leur absorption par les murs ou autres obstacles est faible en raison de leurs grandes longueurs d’onde ; ii) leur atténuation par éloignement de la source ne résout que partiellement le problème : 1 kilomètre diminue de 10 dB un son de 1000 Hz mais seulement de 0,1 dB un son de 10 Hz : iii) leur diffusion omnidirectionnelle rend difficile leur contention.

Sans doute les progrès technologiques voire architecturaux rendront-ils possible cette protection.

ii) *Plafonnement du bruit ambiant et principe d’émergence*

Le bruit généré par une ferme éolienne doit respecter le critère d’émergence (Annexe V).

Celui-ci conduit à d’abord définir *le bruit résiduel* : il s’agit du bruit de fond mesuré au niveau des habitations situées au plus près du site d’implantation. On peut alors définir *le bruit ambiant, somme du bruit de fond et de celui rajouté de celui de l’éolienne.*

Deux situations se présentent alors :

- le bruit ambiant ne dépasse pas 35 dB A, aucune règle ne s’applique au bruit de l’éolienne,

- le bruit ambiant dépasse 35 dB A, on introduit alors le principe d’émergence.

Le principe d’émergence stipule que le bruit de l’éolienne doit être limité de telle façon que le bruit ambiant ne dépasse pas le bruit résiduel de 5 dB A le jour (de 7 à 22h) et de 3 dB A la nuit (de 22 à 7 h) (voir Annexe V).

Pour simple exemple, si le bruit résiduel est mesuré en un point à 45 dB, le bruit émis par l’éolienne sera limité de telle façon qu’en ce point le niveau sonore ambiant ne dépasse pas 50 dB A dans la journée et 48 dB A la nuit.

Ce critère d’émergence maximale appelle les remarques suivantes :

1. L*e* ***bruit résiduel*** varie au cours de la journée en fonction de multiples facteurs : conditions climatiques (vent, humidité, température, etc.), activités environnementales (trafic, nature, etc.), topographie des lieux, etc.

Le respect du critère d'émergence nécessite donc un monitoring en temps réel qui, d'après certains témoignages, n'est pas assuré dans tous les parcs éoliens.

2. Le ***bruit ambiant*** se situerait en moyenne de 30 à 50 dB A [55]. Mais il n'est pas plafonné. Ceci signifie que même si le bruit résiduel est important, ce principe autorise un « rajout » de 5 dB le jour et de 3 dB la nuit.
3. Par ailleurs, ce seuil de 35 dB est supérieur à celui défini pour les bruits perçus dans les autres types d'habitations (c'est-à-dire non concernées par les fermes éoliennes). Pour ces dernières, le seuil est fixé à 30 dB à l'extérieur des habitations et à 25 dB à l'intérieur (article R1334-32 et R1334-33 du code de Santé Publique - décret du 31 août 2006). En d'autres termes, le seuil à partir duquel intervient une limitation de 5 dB à un ajout sonore (bruits de voisinage, etc.) dépend du type d'émetteur du bruit, les éoliennes étant « favorisées » par rapport aux autres bruits ordinaires…

Pour comparaison, il est intéressant de noter qu'en matière de transport, l'OMS recommande de ne pas dépasser 40 dB A à la façade des habitations (l'ANSES recommandant 42 dB A).

Par ailleurs, certaines associations signalent que les contrôles acoustiques qu'elles sont en droit d'exiger ne sont pas systématiquement effectués (voir annexe VI).

iii) *Diminution du niveau de la source sonore*.

Significative, elle ferait taire toute critique vis-à-vis des nuisances sonores.

Des améliorations techniques visant à réduire les turbulences ont été et sont développées consistant par exemple en des ajouts aérodynamiques (type ailettes intégrées sur la surface des pales ou Dinotail placées sur le bord de fuite des pales), ou en une modification de l'orientation des pales face au vent et devant le mât. La mise en place de modes de bridage performants, basés sur un monitoring acoustique estimant les émergences en temps réel, localisant les sources sonores prédominantes et déclenchant automatiquement une baisse du fonctionnement voire l'arrêt des éoliennes, constitue la solution de choix. Cette technologie semble déjà exister et sa généralisation sur toutes les éoliennes, même anciennes, serait souhaitable.

Notons toutefois que ces mesures n'agiraient pas sur le caractère irrégulier, aléatoire, du bruit généré même atténué.

2. L'éloignement des éoliennes

La distance entre premières habitations et éoliennes fait l'objet de réglementations ou de recommandations variables en Europe, aux Etats-Unis, au Canada, etc. Elle varie ainsi de 500 à 2 000 mètres [1,56]. En France, comme signalé plus haut, elle est donc fixée à 500 mètres, les diverses démarches visant à la porter à 1 000 ou 1 500 mètres n'ayant finalement pas été retenues.

Afin d'atténuer l'impact sonore, réel ou supposé, des éoliennes, il serait tentant de reprendre la recommandation de 1000 mètres. Mais cette recommandation se heurterait à plusieurs objections d'ordre politique et industriel : i) une telle mesure impliquerait l'arrêt d'environ la moitié des chantiers de construction actuellement en cours ; ii) l'éloignement des éoliennes aurait peu d'impact, les constructeurs augmentant alors leur puissance et donc leur niveau d'émission sonore tout en respectant les critères acoustiques d'émergence au site d'habitation ; iii) l'adoption d'un minimum de 1000 mètres en réduisant la superficie des fermes compte tenu des terrains disponibles en France réduirait – selon des sources politiques et industrielles - significativement la couverture des régions en électricité (pour autant que les autres sources d'approvisionnement, notamment nucléaire, fassent défaut).

En tout état de cause, la nuisance sonore des éoliennes de nouvelles générations ne paraît pas suffisante pour justifier un éloignement de 1000 Mètres. La nuisance visuelle en revanche ne pourra que s'aggraver du fait que leur hauteur va pratiquement doubler celle des éoliennes actuelles (cf. section 4.4). Cette nuisance étant en partie liée à la taille, il apparaît logique de lier leur point d'implantation à leur hauteur, au travers d'études d'impact visuel appropriées.

i) L'information du public

L'analyse des doléances montre que beaucoup de riverains se plaignent d'avoir été mis devant le fait accompli, n'apprenant l'installation d'une ferme que lorsque débute le chantier d'implantation. Les procédures d'installation de fermes éoliennes prévoient pourtant qu'une campagne publique d'information est organisée dans un périmètre de 6 Kms autour du futur site (Annexe VI) et que toute la population concernée puisse exprimer son avis, ses suggestions voire éventuellement ses contre-propositions.

Manifestement les doléances manifestées par de nombreuses associations suggèrent que cette phase d'enquête publique n'est pas conduite avec la rigueur suffisante. De même, les requêtes

pour non-conformité aux critères d'émergence sonore doivent-elles être davantage entendues et satisfaites. De nombreux riverains se plaignent de s'être heurtés à un « mur préfectoral ».

V. LES RECOMMANDATIONS

La décision de développer davantage encore l'énergie éolienne est un fait politique aujourd'hui gravé dans la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. La problématique de ce rapport était d'analyser la réalité de son impact sanitaire et de dégager des pistes susceptibles d'en diminuer la portée éventuelle.

L'éolien terrestre présente indubitablement des effets positifs sur la pollution de l'air et donc sur certaines maladies (asthme, BPCO, cancers, maladies cardio-vasculaires). Par ailleurs, il ne semble pas induire directement des pathologies organiques. Toutefois, il appert de l'étude de la littérature et des doléances exprimées par de multiples associations de riverains qu'au travers de ses nuisances sonores et surtout visuelles, il affecte la qualité de vie d'une partie des riverains et donc leur « état de complet bien-être physique, mental et social » lequel définit aujourd'hui le concept de santé.

Dans le double souci d'améliorer l'acceptation du fait éolien et d'atténuer son retentissement sanitaire, direct ou indirect, sur une frange de la population de riverains, le groupe de travail recommande :

-de faciliter la concertation entre les populations riveraines et les exploitants ainsi que la saisine du préfet par les plaignants, de s'assurer que l'enquête publique est conduite avec la rigueur décrite dans les textes et effectivement mise en œuvre, et de veiller à ce que les riverains se sentent mieux concernés par les retombées économiques,

-de déterminer la distance minimale d'implantation à la première habitation en fonction de la hauteur des nouvelles éoliennes afin de ne pas majorer leur impact visuel et ses conséquences psychiques et somatiques,

-de systématiser les contrôles de conformité acoustique dont la périodicité doit être précisée dans tous les arrêtés d'autorisation et non au cas par cas,

-d'encourager les innovations technologiques susceptibles de restreindre et de « brider » en temps réel le bruit émis par les éoliennes afin d'atténuer - malgré l'absence de preuves

formelles de sa nocivité - les effets ressentis, et d'en équiper les éoliennes les plus anciennes,

-de revenir pour ce qui concerne leur bruit (et tout en laissant les éoliennes sous le régime des Installations Classées pour le Protection de l'Environnement) au décret du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits du voisinage (relevant du code de Santé publique et non de celui de l'Environnement), ramenant le seuil de déclenchement des mesures d'émergence à 30 dB A à l'extérieur des habitations et à 25 à l'intérieur,

-d'entreprendre, comme recommandé dans le précédent rapport, une étude épidémiologique prospective sur les nuisances sanitaires.

RÉFÉRENCES

[1] Chouard CH et coll. Le retentissement du fonctionnement des éoliennes sur la santé de l'homme. Rapport à l'Académie Nationale de Médecine. Bull Natle Acad Med 2006; 190: 753-4.

[2] Chapman S. Symptoms, diseases and aberrant behaviors attributed to wind turbine exposure. 2013 https:// www.tobacco.health.usyd.edu.au/assets....(in Rubin) Med 2006; 190: 753-4.

[3] Colby WD, Dobie R, Leventhall G et al. Wind turbine sound and health effects. An expert panel review. American wind energy association and Canadian wind energy association. 2009.

[4] Knopper LD, Ollson CA. Health effects and wind turbines: a review of the literature. Environmental Health 2011; 10: 78.

[5] Alves-Pereira M, Castelo Branco NA. Vibroacoustic disease : biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. Progress in Biophys Mol Biol 2007; 93: 256-79.

[6] Watanabe T, Moller H. Low frequency hearing thresholds in pressure field and in free Field. J Low Frequency Noise Vibration 1990; 9: 106-15.

[7] Moller H, Pedersen SCS. Hearing at low and infrasonic frequencies. Noise and Health 2004; 6: 37-57.

[8] Moller H, Pedersen CS. Low-frequency noise from large wind turbines. J Acoust Soc Am 2011; 129: 3727-44.

[9] Dommes E, Bauknecht et al. Auditory cortex stimulation by low-frequency tones: an fMRI study. Brain Res 2009; 130: 129-137.

[10] Bola L., Zimmermann M., Mostowski et al. « Task specific reorganization of the auditory cortex in deaf humans », Proc Nat Acad Sci 2017, 01, doi :10.1073.

[11] Ambrose SED, Rand RW. The Bruce McPherson Infrasound and low Frequency. Noise study 2011; 1-51.

[12] Hayes McKenzie. The measurement of low frequency noise at three UK wind farms. BWEA website. 2006; 1-117.

[13] McCunney RJ, Mundt KA, Colby WD et al. Wind turbines and Health : a critical review of the scientific literature. J Occup Environ Med. 2014; 55: 108-30.

[14] Moorhouse AT, Waddington MD, Adams MD. A procedure for the assessment of low frequency noise complaints. J Acoust Soc Am 2009; 126: 1131-41.

[15] Chatillon J. Perception des infrasons. Acoustique et techniques n°67.
[16] Leventhall G. Infrasound wind turbines : fact, fiction or deception. Can Acoust 2006; 34: 29-36.
[17] Traboulsi R, Avon P. Transmission of infrasonic pressure wawes from cerebrospinal to intralabyrinthine fluids through the human cochlear aqueduct : non-invasive measurements with acoustic emisssions. Hear Res 2007; 233 : 30-9.
[18] Salt A.N., Hullar T.E. Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. Hear Res 2010; 268: 12-21. DOI 10.1016/j.heares.2010.06.007.
[19] Shomer PD, Erdreich J, Pamidighantam PK et al. A theory to explain some physiological effects of the infrasonic emissions at some wind farm sites. J Acoust Soc Am 2015; 137: 1356—65.
[20] Todd N. Tuning and sensitivity of the human vestibular system to low frequency vibration. Neurosci Lett 2008; 444: 36-41.
[21] Pierpont N. Wind turbine syndrome : a report on a natural experiment. K-selected books. 2009. http://www.kselected.com/?page_id=6560
[22] Chapman S, St George A, Walker K et al. The pattern of complaints about Australian wind farms does not match the establishment and distribution turbines. PLoS One 2013; 8:e76584.
[23] Hulmes KI, Brink M, Basner M. Effects of environmental noise on sleep. Noise & Health 2012 ; 61 : 297-302.
[24] Halperin D. Environmental noise and sleep disturbances: a threat to health. Sleep Sci 2014; 7: 209-11.
[25] Jalali L, Nezhad-Ahmadi MR, Gohari M et al. The impact of psychological factors on self-reported sleep disturbance among peope living in the vicinity of wind turbines. Environ Res 2016; 148: 401-10.
[26] Bakker RH, Pedersen E, van den Berg GP et al. Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. Sci Total Environ. 2012; 425: 42-51.
[27] Nissenbaum MA, Aramini JJ, Hanning CD. Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health. Noise Health 2012; 14: 237-43.
[28] Bernert RA, Joiner TE. Sleep disturbances and suicide risk : a review of the literature. Neuropsych Dis Treat 2007; 3: 735-43.
[29] Jeffery RD, Krogh C, Horner B. Effets indésirables sur la santé des éoliennes industrielles. Can Fam Physician 2013; 59: 473-5.

[30] Hanning CD, Evans A. Wind turbine noise seems to affect health adversely and an independent review of evidence is needed. BMJ 201 ; 344:e1527.
[31] Schmidt L. Investigation on psychoacoustical and non-acoustical moderators for annoyance evoked by wind turbine noise. J. Acoust Soc Am 2014; 135:n.4
[32] Rubin GJ, Burns M, Wessely S. Possible psychological mechanisms for « windturbine syndrome ». On the windmills of your mind. Noise Health 2014; 16: 116-22.
[33] Ihlebaek C, Eriksen HR, Ursin H. Prevalence of subjective health complaints in Norway. Scan J Public Health 2002; 30: 20-9.
[34] Barsky AJ, Saintfort R, Rogers MP et al. Nonspecific medication side effects and the nocebo phenomenon. JAMA 2002; 287: 622-7.
[35] Crichton F, Dodd G, Schmid G et al. Can expectations produce symptoms from infrasound associated with wind turbines? Health Psychol 2013; 33: 360-4.
[36] Crichton F, Petrie KJ. Health complaints and wind turbines : the efficacy of explaining the nocebo response to reduce symptom reporting. Environ Res 2015; 140; 449-55.
[37] Baxter J, Morzaria R, Hirsch R. A case-control study of support/opposition to wind turbines: perception of health risk, economic benefit, and community conflict. Energy Policy 2013; 61: 931-43.
[38] Nussbaum DS, Reinis S. Some individual differences in human response to infrasound. UTIAS report 282, CN ISSN 0082-5255. 1985.
[39] Cowell R, Bristow G, Munday M. Acceptance, acceptability and environmental justice : the role of community benefits in wind energy development. J Environ Plan Manag 2011; 54: 539-57.
[40] Fields JM. Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. J Acoust Soc Am 1993; 93: 2753-63.
[41] Pedersen E, van den Berg F, Bakker R et al. Response to noise from wind farm in the Netherlands. J Acoust Soc Am 2009; 126: 634-43.
[42] Harding G, Harding A, Wilkins A. Wind turbines, flicker, and photosensitive epilepsy. Epilepsia 2008; 49: 1095-8.
[43] Pedersen E, Larsman P. The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines. J Environ Psych 2008; 28: 379-89.
[44] Öhrström E. Barregärd L, Andersson E et al. Annoyance due to single and combined sound exposure from railway and road traffic. J Acoustic Soc Am 2007; 122: 2642-52.

[45] Michaud DS, Feder K, Keith SE et al. Exposure to wind turbine noise : Perceptual responses and reported health effects. J Acoust Soc Am 2016; 139: 1443-54.

[46] Leventhall G. Concerns about infrasound from wind turbines. Acoustics Today 2013; Vol 9: 30-8.

[47] Lundquist P, Holmberg K, Lanström U. Annoyance and effects on work from environmental noise at school. Noise Health. 2000; 2: 39-46.

[48] Bolin K, Bluhm G, Eriksonn G et al. Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects. Environ Res Lett 2011, 6:106.

[49] Independent Noise Working Group. Wind turbine amplitude modulation and planning control study. https://www.heatonharris.com/reports-publications.

[50] Grimwood CJ, Skinner GJ, Raw GJ. The UK national noise attitude survey 1999/2000. Proceedings of the Noise Forum Conference. 2002 may 20; London CIEH.

[51] ANSES.https://www.anses.fr/fr/content/impacts-sanitaires-du-bruit-genere-par-les-éoliennes

[52] Roberts JD, Roberts MA. Wind turbines : is there a human health risk? J Environ Health. 2013; 75: 8-13.

[53] Mayo Clinic. Stress symptoms : effects on your body, feelings and behavior. 2011. Available from : http://www.mayoclinic.com/health/stress-symptoms/SR00008D.

[54] Shepherd D, McBride D, Welch D et al. Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life. Noise Health 2011; 13: 333-9.

[55] British Wind Energy Association. 2010. http://www.bwea.com/ref/noise.html.

[56] Position of the National Institute of Public Health – National Institute of Hygiene on wind farms. http://pzh.gov.pl

[57] Dancer A, Franke R. Intracochlear sound pressure measurements in guinea pigs. Hear Res 1980; 2: 191-205.

[58] Cerema. http://www.cerema.fr/spip.php?page=sommaire

Personnalités auditionnées

Jean-Louis BUTRE, Président de la Fédération de l’environnement durable

Olivier DAVID, sous-directeur du système électrique et des énergies renouvelables

Laurent DROIN, Directeur du Centre d’Information et de Documentation sur le Bruit

Sylvain DROUIN, adjoint au chef du bureau des risques des industries de l'énergie et de la chimie, au sein du service des risques technologiques

Paul DUCLOS, Responsable Windustry France, Chargé de mission Eolien

Irène LAURET-DUCOSSON, EDF EN, Ingénieur acoustique

Marion LETRY, Déléguée générale adjointe, Syndicat des énergies renouvelables

Eric MARCHAL, Ingénieur des Mines, Expert auprès de l'AFNOR, Expert près la Cour d'Appel de Nancy, responsable du pôle R&D du groupe Venathec

Philippe MERLE, chef du service des risques technologiques

Aleksandra PIOTROWSKI, Toxicologie, EDF SA Services des études médicales

André POSOKHOW, Ancien commissaire aux comptes

Julien RAYNAL, Ingénieur de site éolien, Siemens SAS

Joris ROBILLARD, Ingénieur Environnement, Enercon GmbH France

Hervé TEXIER, Docteur en Sciences Physiques

Lory WAKS, adjoint au chef de la Mission bruit et agents physiques, au sein du Service des risques sanitaires liés à l'environnement, des déchets et des pollutions diffuses

Groupe de travail

Claude-Henri CHOUARD

Emmanuel CABANIS

André CHAYS

Marie-Thérèse HERMANGE

Yvan TOUITOU

Patrice TRAN BA HUY

ANNEXES

ANNEXE I. De quelques données sur l'énergie éolienne terrestre en France

L'énergie éolienne occupe aujourd'hui la deuxième place des énergies renouvelables (EnR) (25%), derrière la filière hydraulique (57%) et devant les filières solaire (14%) et bioénergétique (4%). Le Grand-Est, l'Occitanie et les Hauts-de-France possèdent les parcs éoliens les plus importants du territoire.

En termes de capacité de production, la France occupait fin 2015 en Europe la quatrième place derrière l'Allemagne, l'Italie et L'Espagne.

Avec environ 4 à 5 000 éoliennes regroupées en 5 à 800 fermes (les chiffres varient selon les sources), elle représente à ce jour 11,166 GigaWatts installés assurant environ 5% de la consommation d'électricité en France métropolitaine.

La Programmation Pluriannuelle des Energies (PPE) prévoit pour la filière éolienne terrestre un développement annuel visant à atteindre 15 000 MW en 2018 et entre 21 800 MW et 26 000 en 2023 (au 30 juin 2016, environ 4 000 éoliennes regroupées au sein de 1 400 fermes produisaient une puissance de 10 850 MW) Elle devrait ainsi couvrir environ 10% de l'électricité consommée en France métropolitaine (contre 5% aujourd'hui),

Cette augmentation en puissance de l'éolien terrestre correspondra à l'installation d'environ 500 nouvelles éoliennes par an.

La durée de vie d'une éolienne est garantie 20 ans.

Pour de multiples raisons techniques et financières, l'éolien en mer ne peut représenter une alternative à l'éolien terrestre avant de nombreuses années.

ANNEXE II.Le bruit et les infrasons

Le bruit est un ensemble de vibrations apériodiques et se définit par son spectre fréquentiel et l'éventail des intensités portées par chacune des fréquences. Rappelons que la gamme des fréquences perçues par l'oreille humaine s'étend – théoriquement et chez le sujet jeune - de 20 à 20 000 Hz. De façon arbitraire, les basses fréquences sont comprises entre 100 et 20 Hz. Au-dessous se situent les infrasons qui sont donc théoriquement inaudibles. La plupart des bruits industriels (dont les éoliennes) contiennent des spectres d'infrasons.

La figure ci-dessous illustre les seuils d'audibilité chez une personne jeune et normo-entendante. On peut constater que les seuils des basses fréquences et des infrasons sont élevés, se situant schématiquement à 120 dB pour 1 Hz, 105 dB pour 8 Hz, 95 dB pour 16 Hz, 66 dB pour 32 Hz, 45 dB pour 63Hz. Le seuil de douleur se situe pour sa part entre 140 dB à 20 Hz et 162 dB à 3 Hz.

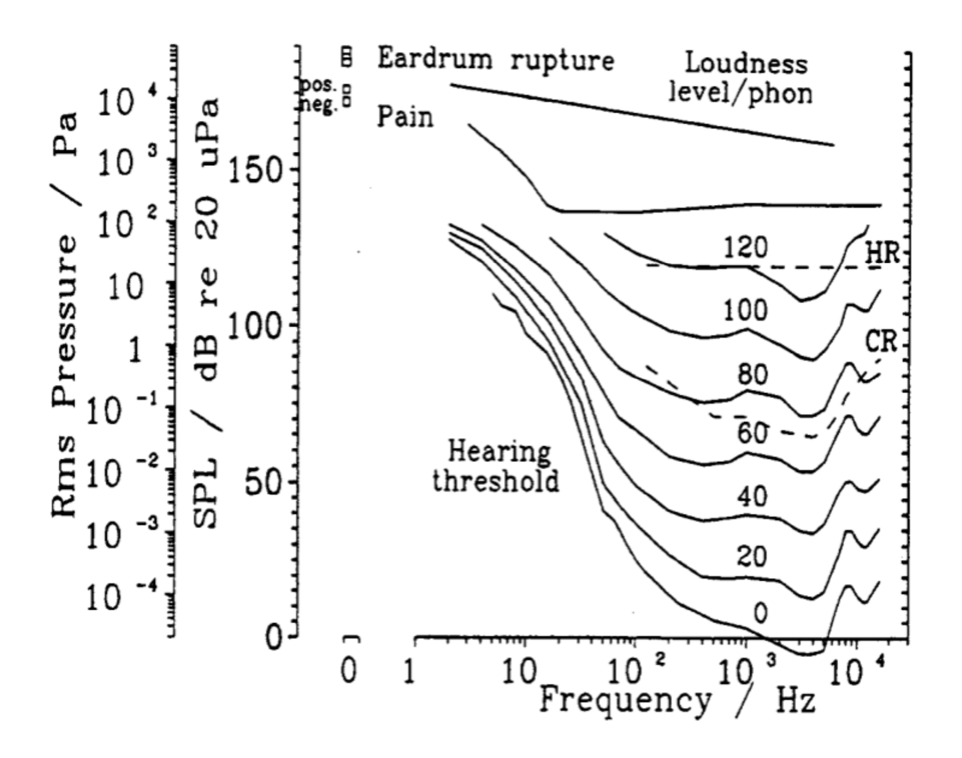


FIGURE 1 (d'après J. Dancer [57])

Courbes isosoniques de Fechner et Munson. Chaque point correspond à un son pur (fréquence en abscisse et intensité sonore en ordonnées, en coordonnées logarithmiques). Chaque courbe, appelée « isosone » relie les points qui correspondent à des sons qui donnent

la même impression subjective d'intensité. La zone la plus basse de chaque courbe correspond au maximum de sensibilité de l'oreille (500 – 4000 Hz). La courbe 0 phone correspond aux plus faibles sons audibles; la courbe 120 phones au seuil de la douleur.

Les Infrasons se propagent dans l'air à une vitesse identique à celle des ondes audibles, soit de l'ordre de 330m/s. La longueur d'onde d'un son étant inversement proportionnelle à sa fréquence, celle d'un infrason de 20 Hz est d'environ 16 mètres, c'est-à-dire très supérieure à la taille de la plupart des êtres vivants, notamment de l'homme.

Lorsqu'un corps, objet ou être vivant, est soumis à des infrasons parvenus par propagation aérienne, ce corps se trouve immergé dans un champ acoustique et verra une force s'exercer sur ses organes contenant de l'air et ne communiquant pas avec l'extérieur (c'est-à-dire, chez l'homme, la caisse du tympan, le tractus digestif, l'arbre respiratoire lorsque la glotte est fermée). Lorsque la propagation se fait en plus par voie solide, entraînant par exemple la vibration des murs d'une cavité aérienne, l'énergie absorbée par le corps, lorsqu'il touche une de ces parois, peut-être beaucoup plus importante.

Ainsi les infrasons peuvent-ils donner naissance à des phénomènes de résonance; la poitrine résonne entre 40 et 60 Hz, et l'abdomen faiblement entre 4 et 8 Hz. L'ouverture de la glotte permet au contenu aérien thoracique d'entrer en résonance à 1 Hz, si bien qu'aux alentours de 165 dB on peut observer une respiration passive modulée par l'infrason.

La diffusion de l'énergie sonore à partir de la source dépend de la nature du milieu dans lequel elle se propage et de la longueur d'onde émise. Un émetteur d'ultrasons rayonne pratiquement dans une seule direction. Au contraire, les ondes émises par un générateur d'infrasons sont pratiquement sphériques et rayonnent de tous côtés, de façon centrifuge et multidirectionnelle.

La perte d'énergie en fonction de la distance est très importante pour les fréquences aiguës, faible pour les fréquences graves. Ainsi, à plusieurs centaines de mètres d'une source de bruit intense, il n'y a plus guère de fréquences aiguës, et seules persistent les médiums, les fréquences graves et les infrasons.

Les infrasons naturels (vent, tonnerre, etc.) font partie de l'environnement naturel de l'homme. Même s'ils sont inaudibles parce que d'intensités trop faibles, ils sont produits par de nombreuses activités quotidiennes :

Types d’activité	
Running	90 dB à 2 Hz
Nage	140 dB à 0,5 Hz
Voyage en voiture vitres ouvertes	115 dB à 15 Hz
Grattage du conduit auditif externe	160 dB à 2 Hz
Salle de machines d’un paquebot	130-140 dB à 5-20 Hz

TABLEAU 1. Exemples d’infrasons générés par certaines activités.

Fréquences de la source	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz	125 Hz
Véhicule léger à 100 km/h	95	90	88	82	78
Camion roulant à 80 km/h	103	105	102	92	88
Train vitres ouvertes à 80 km/h	97	101	101		
Eolienne 2 MW à 500 mètres	56	56	55		50

TABLEAU 2 (d'après J. Rolland)

A mesure que la fréquence d'un son baisse en dessous de la zone des fréquences conversationnelles (500-4000Hz), l'énergie nécessaire pour qu'il soit perçu par l'oreille humaine croît rapidement. De plus, dans ces gammes des basses fréquences, si, à de hautes intensités, l’oreille peut, jusqu'à 20 Hz, reconnaître une tonalité, en dessous de cette zone elle

ne perçoit plus que des phénomènes distincts décrits comme des battements. Cette particularité contribue à la définition des infrasons. Mais 20 Hz est une limite floue, car la non-linéarité de l'oreille moyenne entraîne des distorsions responsables d'une perception sonore parasite variable.

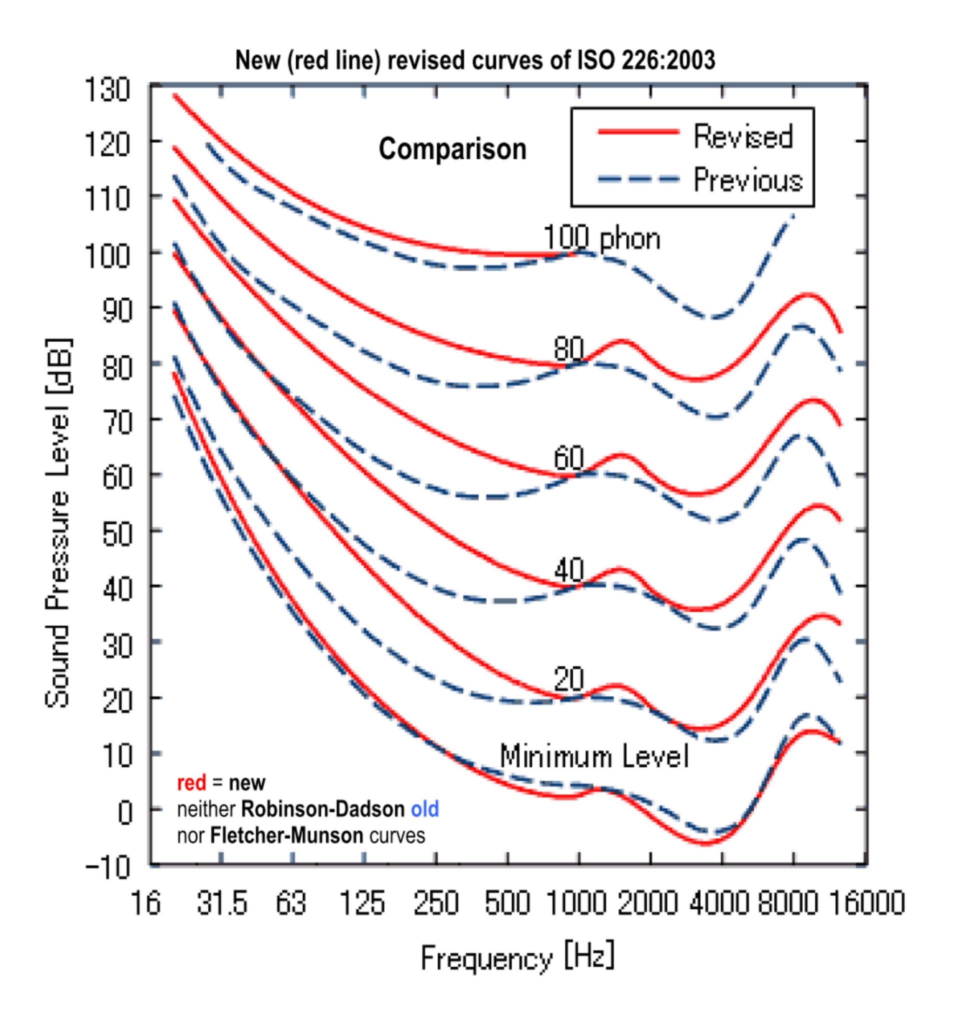


FIGURE 2 (d'après A. Dancer)

Energie nécessaire (en abscisse) pour obtenir le seuil liminaire et les seuils de sensation d'intensité équivalente, par rapport à un son de 1000 Hz servant de référence, pour différentes fréquences (en ordonnée). Les infrasons (en haut et à gauche de la figure) nécessitent une très forte intensité pour être perçus, et une intensité tout à fait hors norme pour approcher le seuil douloureux.

L'oreille moyenne est la première à souffrir à mesure qu'augmente l'intensité des infrasons. En effet la membrane élastique du tympan est sensible aux variations de pression et absorbe bien

mieux l'énergie que le reste du corps. On peut ainsi observer à partir de 130 dB une hyperhémie tympanique transitoire disparaissant à l'arrêt de la stimulation.

Les niveaux supérieurs à 160 dB, qui pourraient entraîner des lésions cochléaires, nécessiteraient des générateurs d'une puissance et d'un encombrement totalement irréalistes en champ libre.

L'atteinte vestibulaire représente l'essentiel des phénomènes déclenchés dans l'oreille interne par les infrasons. Ces troubles reflètent la diffusion au vestibule de l'énergie délivrée par l'étrier aux liquides labyrinthiques. Lors d'une tympanométrie, geste de routine en audiométrie clinique, on applique une pression statique dans le conduit auditif externe, qui réalise une pression monaurale et peut entraîner un léger vertige. Toutefois, chez l'animal, l'exposition de 169 dB à 10 Hz ou de 158 dB à 30 Hz, n'induit pas de nystagmus. Chez l'homme soumis à des niveaux variant entre 142 et 150 dB, on n'observe pas non plus de nystagmus, que la stimulation soit monaurale ou bilatérale, ou soit en phase ou en opposition de phase. Cependant, des bouffées de bruit (tone bursts) ou des sons modulés en amplitude peuvent, en application monaurale ou dissymétrique de 125 dB, au rythme de trois par seconde, produire des mouvements oculaires rapides ou un déséquilibre transitoire.

Par ailleurs, en se rapprochant des fréquences conversationnelles, une toux et une «sensation d’étouffement» ont été rapportées pendant l’exposition à des bruits de sirènes de 150 à 154 dB dans la gamme 50 à 100 Hz. Une gêne ne s'observe qu'avec des stimuli comportant un spectre sonore ayant de fortes pentes aux basses fréquences (8 dB/oct), et à une intensité supérieure à celle du seuil de perception sonore. Des effets dits "psychologiques", avec manque de concentration peuvent apparaître au-dessus de 110 dB, chez le sujet sain expérimentalement soumis aux infrasons.

Dans le cas particulier des éoliennes, notons que les très basses fréquences mesurées à 100 mètres des éoliennes se situent à au moins 40 dB en dessous du seuil d’audibilité.

A cette distance, l'intensité des infrasons est si faible que ces engins ne peuvent provoquer ni cette gêne, ni cette somnolence liées à une action des infrasons sur la partie vestibulaire de l'oreille interne, que l'on ne peut observer qu'aux plus fortes intensités expérimentalement réalisables.

ANNEXE III.Le décibel

Le décibel - dB - est un nombre sans dimension qui permet de quantifier « l'écart », « le rapport », «la différence de niveau » entre deux grandeurs de même nature, l'une d'entre elles étant prise pour référence. Ce nombre (Y) est calculé comme étant dix fois le logarithme en base 10 de leur rapport, soit pour deux grandeurs X et X0, valeur de référence

$$Y(\text{en décibel}) = 10 \log X/X0$$

En acoustique, si l'on prend pour valeur de référence P0, la variation de la pression au seuil de l'audition d'une oreille normale à 1000Hz, on peut alors définir une échelle de pression en dB traduisant ainsi le niveau de pression observé en un point donné par rapport à cette valeur P0 de référence. On parlera de dB SPL (SPL pour « Sound Pressure Level ») afin d'insister sur le fait qu'il s'agit bien là d'une échelle de pression.

En acoustique médicale, on parlera de dB HL (HL pour « Hearing Level »). Ce décibel n'est utilisé qu'en audiométrie : en effet, pour chacune des fréquences, on prendra pour valeur de référence le seuil de l'audition de sujets considérés comme normo-entendants ; la valeur 0 dB à chacune des fréquences traduit donc une valeur normale de l'audition pour la fréquence considérée.

En acoustique industrielle, par exemple dans l'habitat, ou dans le cadre de la règlementation, on a dû définir d'autres décibels car il y a là nécessité de comparer le niveau sonore des bruits et non plus de deux sons purs. Ces échelles n'expriment donc plus un niveau sonore selon chaque fréquence mais se proposent d'aboutir à une valeur unique du niveau de bruit, exprimée en décibels, en un point et à un instant donnés.

Pour y parvenir on va « pondérer » selon les fréquences :

- **la pondération A aboutissant au dB A** est la plus fréquemment utilisée, adaptée à la réponse de l'oreille à des faibles niveaux de pression acoustique, autour de 40 dB SPL (Sound Pressure Level).

- la pondération C aboutissant au dB C s'adresse plus au comportement de l'oreille à des niveaux élevés de pression acoustique, supérieurs à 70 dB SPL. Elle sera donc plus juste que la précédente lorsque l'on cherchera à évaluer le niveau de bruit dans une ambiance très bruyante à des niveaux de 85 à 130dB.

- la pondération G aboutissant au dB G, spécifique pour la mesure des infrasons, décrite dans « Norme ISO 7196 :1995 - Acoustique. Pondération fréquentielle pour le mesurage des infrasons. Mars 1995 ».

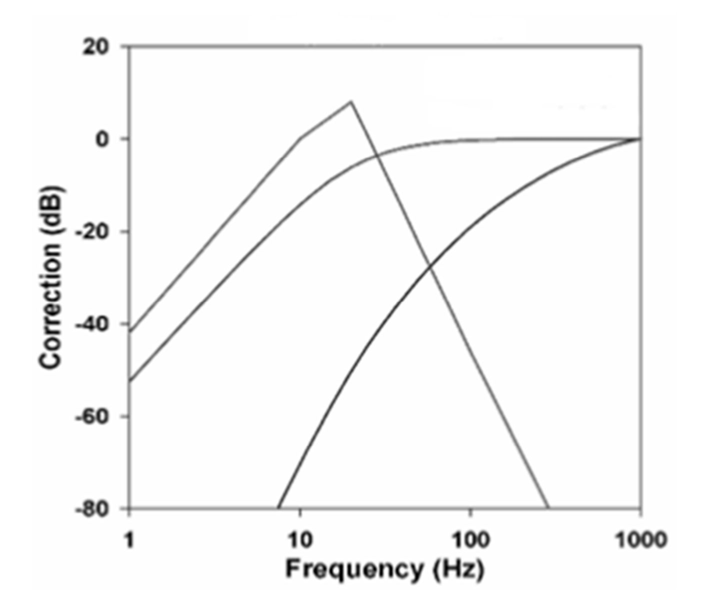
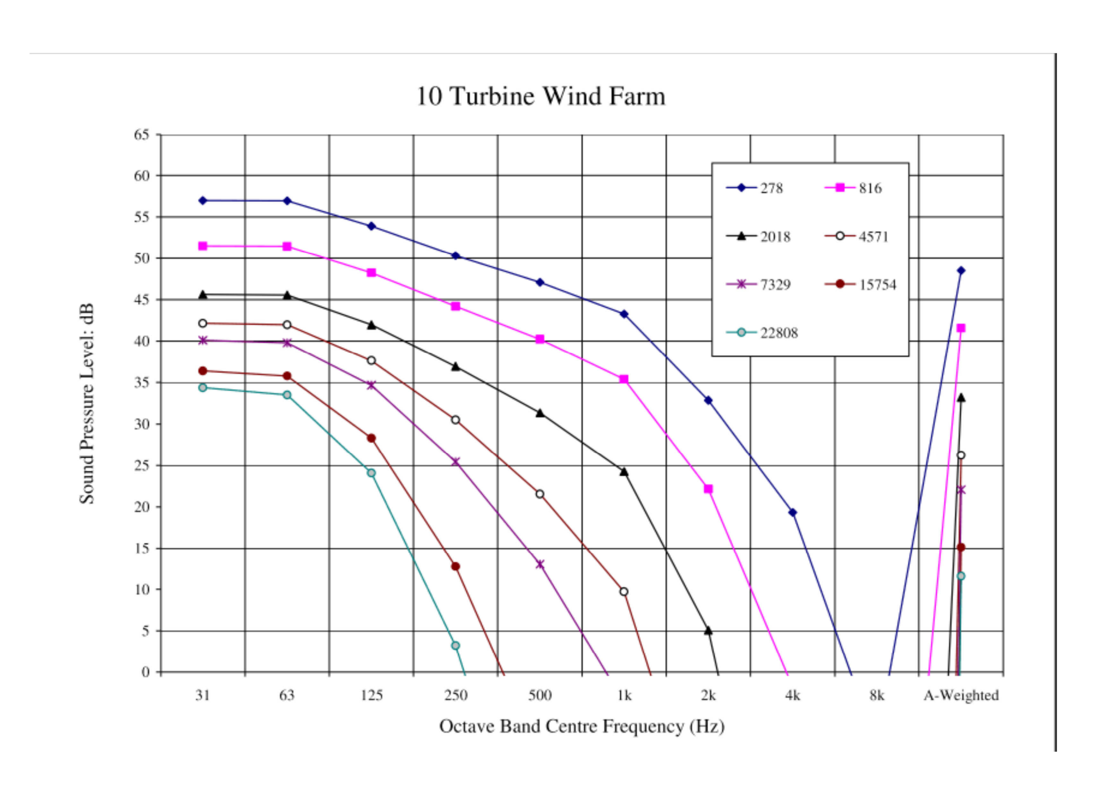


Figure. Couverture spectrale des différentes pondérations de décibels (d'après 11).

Retenons que la quasi-totalité des études concernant la nuisance sonore des éoliennes ont utilisé les dB A car ils correspondent à la sensibilité de l'oreille humaine. Il leur est reproché de sous-estimer les basses fréquences et les infrasons.

ANNEXE IV. Bruit ambiant



Fréquences	**Intensité mesurée à 800 m**	**Intensité mesurée à 500 m**
11-22 Hz	**52**	**56**
31 Hz	**52**	**55**
125 Hz	**48**	**50**
250 Hz	**44**	**48**

Niveaux sonores générés par une ferme de 10 éoliennes en fonction de la distance [12]. The measurement of low frequency noise at three UK wind farms. BWEA website. 2006 ; 1-117.

ANNEXE V. Les critères acoustiques d'installation et de suivi. Le critère d'émergence.

L'étude d'impact doit s'assurer que l'impact sonore de la future ferme éolienne respectera le critère d' «émergence maximale» définie par le code de Santé Publique dans son article 26 de l'arrêté du 26 août 2011.

Selon ce critère, lorsque le *bruit ambiant* (encore appelé *bruit total = bruit résiduel* (c'est-à-dire le bruit de fond au niveau des habitations situées près du site d'implantation) + *bruit de l'éolienne*) d'un site est supérieur à 35 dB, le bruit rajouté des éoliennes ne doit pas dépasser *le bruit résiduel* de 5 dB A le jour (de 7 à 22h) et 3 dB A la nuit (de 22 à 7h).

Si le bruit ambiant est au-dessous ou égal à 35 dB A, il n'y a pas de limites à la production sonore des éoliennes. Ceci signifie que si le bruit résiduel est faible, par exemple 20 dB A, le bruit des éoliennes n'a pour seule limite que de ne pas dépasser les 35 dB de bruit ambiant.

L'étude acoustique effectuée selon les dispositions de la norme NF 31-114 et sous la responsabilité du Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) [58] consiste donc à mesurer d'abord *le bruit résiduel* puis à établir le *bruit prévisionnel des éoliennes* à installer en se basant sur des logiciels de calcul prenant en compte la topographie des lieux, la nature des sols, les conditions météorologiques, la rose et la vitesse des vents, la technologie et le nombre d'éoliennes prévus sur le site, etc.

Les heures définissant le jour (7h) et la nuit (22h) sont en réalité ajustées aux « ambiances sonores homogènes », lesquelles tiennent compte des bruits de la nature et environnementaux (l'avifaune se réveille et le trafic routier augmente souvent avant 7 heures du matin !).

La distance admissible d'installation est ensuite définie pour chaque site par cet indicateur d'émergence. En d'autres termes, plus le milieu dans lequel une ferme éolienne est implantée est calme, plus la distance habitations-éoliennes est élevée (ceci explique pourquoi de nombreuses fermes sont installées près d'autoroutes).

A noter toutefois qu'au cours de la journée le bruit résiduel varie parfois considérablement, ce qui, en pratique, impose une technologie complexe, adaptant en temps réel le bruit des éoliennes à ces variations. Elle n'est pas en place sur toutes les fermes.

Notons encore que – théoriquement - le bruit ambiant ne doit dépasser 70 dBA le jour et 60 dBA la nuit en n'importe quel point d'un périmètre dont le rayon correspond grossièrement à la hauteur hors-tout (hauteur du moyeu + longueur d'une pale). Cette réglementation n'a en pratique aucun intérêt puisque n'intéressant pas les habitations.

Conséquence du classement des éoliennes au régime des ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) et donc relevant du code de l'environnement et non de la santé publique, le seuil de déclenchement du principe d'émergence est de 35 dB A à la façade des habitations et non de 30 dB A comme pour toute habitation commune et même de 25 dB A à l'intérieur des habitations.

Concernant les contrôles périodiques, il est stipulé (voir Section 4 de l'arrêté du 26 août 2011 relatifs aux parcs éoliens soumis à autorisation ICPE) qu'au moins une fois au cours des trois premières années de fonctionnement de l'installation puis une fois tous les dix ans, l'exploitant met en place un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des aérogénérateurs (article 12), effectue des essais des équipements de sécurité en situation normale, arrêt, arrêt d'urgence, arrêt en situation de survitesse, etc. (article 15), et contrôle les systèmes de fixation du mât et des pales (article 18).

Concernant les contrôles acoustiques, il est stipulé (Section 6 de l'arrêté du 26 août 2011 relatifs aux parcs éoliens soumis à autorisation ICPE, articles 26 à 28) que les mesures sont effectuées selon les dispositions de la norme NF 31-114 dans sa version en vigueur six mois après la publication du présent arrêté ou à défaut selon les dispositions de la norme NFS 31-114 dans sa version de juillet 2011. ».

Quant à la périodicité des contrôles acoustiques, il est précisé dans l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement à l'Article 5 que l'exploitant doit faire réaliser périodiquement, à ses frais, une mesure des niveaux d'émission sonore de son établissement par une personne ou un organisme qualifié choisi après accord de l'inspection des installations classées. Ces mesures se font aux emplacements et avec une périodicité fixés par l'arrêté d'autorisation. Les emplacements sont définis de façon à apprécier le respect des valeurs limites d'émergence dans les zones où elle est réglementée. La périodicité des mesures de réception est donc précisée au cas par cas selon que l'arrêté d'autorisation d'exploiter comporte ou non une prescription.

Cette périodicité est en réalité mal définie. Les informations obtenues du ministère de l’Environnement, de l’Energie et de la Mer suggèrent qu’un contrôle acoustique peut être effectué en cas de plaintes des riverains (nous avons souligné plus haut que ces plaintes n’étaient pas toujours suivies d’effet…), que les éoliennes sont inspectées tous les 7 ans environ mais ne font pas forcément l'objet de mesures acoustiques à cette occasion mais que les inspecteurs vérifient régulièrement la bonne mise en œuvre des plans de bridage fixés par arrêté préfectoral.

ANNEXE VI. PROCEDURE D'AUTORISATION ET SUIVI D'INSTALLATION

Au 1° mars 2017, cette procédure comporte schématiquement pour les éoliennes dont la hauteur dépasse 50 mètres trois étapes :

4. **Une phase d'examen :**

En réponse aux besoins exprimés par la Programmation Pluriannuelle des Energies (il n'y a pour l'instant pas d'appel d'offres), le futur exploitant qu'il soit privé, public ou semi-public prospecte et soumet un projet d'implantation. Le dossier comporte une étude d'impact, une étude des dangers ainsi que les avis de l'Autorité Environnementale et de l'Agence Régionale de Santé. En matière de nuisance sonore, l'étude d'impact doit notamment s'assurer que la future ferme éolienne respectera le critère d' «émergence maximale» défini par le code de Santé Publique dans son article 26 de l'arrêté du 26 août 2011 (voir Annexe V).

Un bail emphytéotique de concession d'une durée pouvant atteindre 25 ans est conclu avec les propriétaires fonciers contre une compensation financière. Une compensation financière est également prévue pour la commune, la communauté des communes et la région.

Le dossier est transmis au Préfet de région via la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement).

5. **Une phase d'enquête publique**

Ses modalités ont été modifiées par l'ordonnance n° 2016-1060 du 3 août 2016. Elle consiste à informer les collectivités locales et les riverains du projet d'implantation via les élus locaux, des réunions d'informations, l'affichage du dossier administratif dans toutes les mairies situées dans un rayon de 6 kilomètres autour de la future ferme éolienne, ainsi que les journaux locaux et Internet.

Cette phase dure 1 mois et fait l'objet d'un rapport du commissaire enquêteur.

6. **Une phase de décision**

En fonction des résultats de l'enquête publique, l'autorisation définitive est donnée par le préfet par voie d'arrêté préfectoral. Cet arrêté peut faire l'objet d'un recours devant les tribunaux administratifs déposé par les demandeurs ou les tiers dont les communes intéressées.

Ajoutons qu'une « Etude acoustique de réception en exploitation » est effectuée à la mise en service. Par la suite, « l'exploitant doit faire réaliser périodiquement, à ses frais, une mesure des niveaux d'émission sonore de son établissement par une personne ou un organisme qualifié choisi après accord de l'inspection des installations classées. Ces mesures se font aux emplacements et avec une périodicité fixés par l'arrêté d'autorisation. Les emplacements sont définis de façon à apprécier le respect des valeurs limites d'émergence dans les zones où elle est réglementée. »

A tout moment, cependant, le préfet peut diligenter une enquête effectuée par l'Inspecteur des Installations Classées.

Pour copie certifiée conforme
Le Secrétaire perpétuel

Professeur Daniel COUTURIER